

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	継続時間が長い外乱下での粘弾性ダンパーの3次元有限要素解析
Title(English)	
著者(和文)	佐藤大樹, 笠井和彦, 田村哲郎
Authors(English)	Daiki Sato, KAZUHIKO KASAI, TETSURO TAMURA
出典(和文)	日本風工学会誌, Vol. 30, No. 103, pp. 209-210
Citation(English)	, Vol. 30, No. 103, pp. 209-210
発行日 / Pub. date	2005, 4

継続時間が長い外乱下での粘弾性ダンパーの3次元有限要素解析

3D-FEM for Viscoelastic Damper under the Long Duration Loading

○佐藤大樹¹⁾ 笠井和彦²⁾ 田村哲郎³⁾
Daiki SATO¹⁾ Kazuhiko KASAI²⁾ Tetsuro TAMURA³⁾

1. はじめに

粘弾性ダンパーは風応答のような微小な振動に対して有効な制振装置である。粘弾性体は仕事を熱エネルギーへと変換するが、粘弾性体内部の温度が上昇にともない、剛性およびエネルギー吸収能力は低下する。粘弾性ダンパーのモデル化する場合、内部温度の上昇を精度良く再現する必要がある。

地震のような継続時間が短い場合、熱伝導や熱伝達の影響を無視できるほど小さいことから、粘弾性体内部の温度および歪を一様と考えてきた。これは、継続時間が短い場合は、十分に妥当な仮定¹⁾であるが、風外乱のように継続時間が長い場合、熱伝導および熱伝達の効果により中心部の温度は高く、逆に鋼板近くや表面の温度は低くなる。粘弾性内部が温度分布をもつことに伴い、歪分布も一様でなくなる。

継続時間が長い場合の粘弾性ダンパー内部の温度分布を精度良く再現できる分数微分構成則が、Kasaiにより提案されている²⁾。そこでは、熱伝導係数の大きい鋼板に粘弾性体が挟まれていることから、熱の移動は粘弾性体の厚さ方向の1次的に表現できると仮定している。

本報では、分数微分構成則^{1), 2)}を用いた3次元有限要素解析手法を提案し、振動時における粘弾性体ダンパーの内部温度の把握、および1次元性の仮定の妥当性を確認することを目的とする。

2. 実験概要

ダンパーは、2層の粘弾性体を鋼板に挟んだ形状となっている。試験は、振動数0.333Hz、歪50%の正弦波加振を3000秒間行う。その後2000秒間は加振を止め、温度低下を計測する。温度は4箇所で熱電対により計測する（図1）。ダンパー周辺温度は常に24°Cである。詳細は文献2を参照されたい。

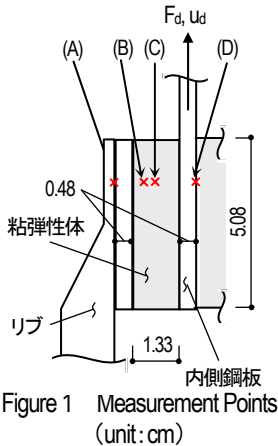


Figure 1 Measurement Points (unit: cm)

3. 有限要素解析モデル

図2に3次元有限要素解析モデルを示す。解析にはABAQUSの変形-温度練成8節点立体アイソパラメトリック要素を用いた。粘弾性部分の分割数はそれぞれ、 $B_d=18, D_d=20, H_d=12$ であり、この分割数で解が十分に収斂していることを確認している。また、幾何学非線形性が解に与える影響は小さかったことから、本解析では考慮していない。解析パラメータを表1に示す。振動数が0.333Hzと低いことから、振動していることによる熱伝達の促進は小さいと考えられ、ダンパーの空気に触れている全ての面の熱伝達係数を等しくし、試行錯誤的に $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{°C}$ と決定した。粘弾性体のポアソン比は、ロッキングを発生せず、かつ非圧縮性に近い $\nu=0.47$ とした。

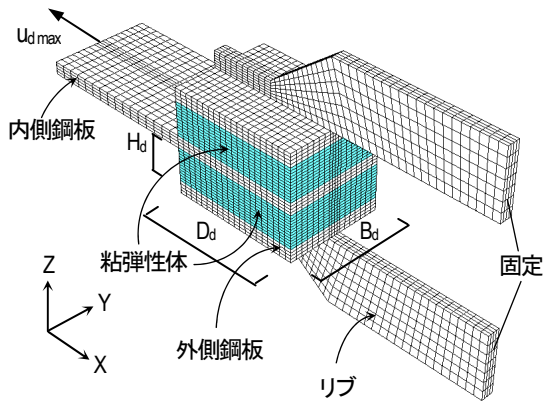


Figure 2 3D-FEM Model

Table 1 Parameter of 3D-FEM

粘弾性体				鋼板			
$s \rho$ (N/m ² °C)		193.97x10 ⁴		$s \rho$ (N/m ² °C)		363.79x10 ⁴	
κ (W/m°°C)		0.188		κ (W/m°°C)		43.128	
ν		0.47		ν		0.3	
α_c (W/m ² °C)		25		E (N/m ²)		2.05x10 ¹¹	
				α_c (W/m ² °C)		25	
分数微分パラメータ							
G (N/m ²)	α	a_{ref}	b_{ref}	θ_{ref} (°C)	p_1	p_2	
6.52x10 ⁴	0.609	0.0115	21.157	0.2	19.5	80.2	

- 1) 東京工業大学 大学院生
Graduate Student, Tokyo Institute of Technology
- 2) 東京工業大学建築物理研究センター 教授・Ph.D
Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.
- 3) 東京工業大学環境理工学創造専攻 教授・工博
Prof., Dept. of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

4. 有限要素解析手法

はじめに、ダンパー全体の初期温度を実験時のダンパー周辺温度（24℃）とし、粘弾性体の要素 j でのヤング係数 E'_j を次式より算出する。ここで、 ν はポアソン比である。

$$E'_j = 2G'_j(1 + \nu) \quad (1)$$

G'_j は分数微分構成則における、円振動数 ω での定常状態の式¹⁾に要素位置を考慮した式(2)より得られる。

$$G'_j = G \frac{1 + a_j b_j \omega^{2\alpha} + (a_j + b_j) \omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)}{1 + a_j^2 \omega^{2\alpha} + 2a_j \omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)} \quad (2)$$

ここで、 a_j 、 b_j は要素中心の温度を用いてシフトファクター¹⁾より求める。

次に、内側鋼板に実験時のダンパー最大変位 $u_{d \max}$ だけ強制変位を与え静的解析を行う。

静的解析から得られる各要素での歪エネルギー $W_{s,j}$ は、 V_j を要素 j の体積とすると、式(3)で表される。

$$W_{s,j} = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{k=1}^3 E' \varepsilon_{kk}^2 + G' (\gamma_{12}^2 + \gamma_{13}^2 + \gamma_{23}^2) \right\}_j \cdot V_j \quad (3)$$

ただし、式(3)に示す歪 ε 、 γ は要素中心位置での値である。

一方、定常振動している際の、要素 j が1サイクルに成す仕事 $W_{d,j}$ は次式より求められる。

$$W_{d,j} = \pi \eta_j \left\{ \sum_{k=1}^3 E' \varepsilon_{kk}^2 + G' (\gamma_{12}^2 + \gamma_{13}^2 + \gamma_{23}^2) \right\}_j \cdot V_j \quad (4)$$

ここで、式(4)中の η_j は要素 j での損失係数¹⁾であり、要素中心での温度を用いて式(5)より得られる。

$$\eta_j = \frac{(-a_j + b_j) \omega^\alpha \sin(\alpha\pi/2)}{1 + a_j b_j \omega^{2\alpha} + (a_j + b_j) \omega^\alpha \cos(\alpha\pi/2)} \quad (5)$$

式(3)と式(4)を比較することで、 $W_{d,j}$ は次式の如く表される。

$$W_{d,j} = 2\pi \eta_j W_{s,j} \quad (6)$$

要素 j での単位体積および単位時間当たりの発熱量 $\dot{Q}_j$ は、 T を加振試験での周期とすると式(7)より得られる。

$$\dot{Q}_j = \frac{W_{d,j}}{T \cdot V_j} \quad (7)$$

式(7)の発熱量を用いて3次元非定常熱伝導解析を T 秒間行い、得られた粘弾性体部分の各要素での温度より、式(1)、(2)を用いて粘弾性部分のヤング係数 E'_j を変更し、 $u_{d \max}$ の強制変形を内側鋼板に与え静的解析を再度行う。

以上を繰り返すことで、正弦波加振試験時の粘弾性ダンパーの内部温度および剛性の変化をシミュレートする。

5. 有限要素解析結果

図3に温度時刻歴、図4にダンパー貯蔵剛性 K_d ¹⁾を示す。温度および K_d ともに、解析結果は実験結果と良く一致しており、本解析が精度良く実験をシミュレートできる手法であることが確認できた。

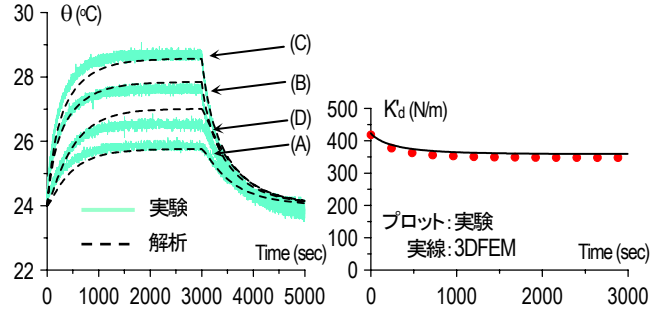


Figure 3 Temp. Time History

Figure 4 Storage Stiffness K_d

図5(a)~(c)に解析より得られた3000秒での温度分布を示す。図5(b)より、Z方向の温度は位置によって異なり、分布を持つことが確認できる。一方、XおよびY方向の温度は、表面を除いてほぼ一様であることが図5(c)より確認できる。文献2で仮定した、温度分布が粘弾性体の厚さ方向の1次元性で表されることの妥当性が示された。

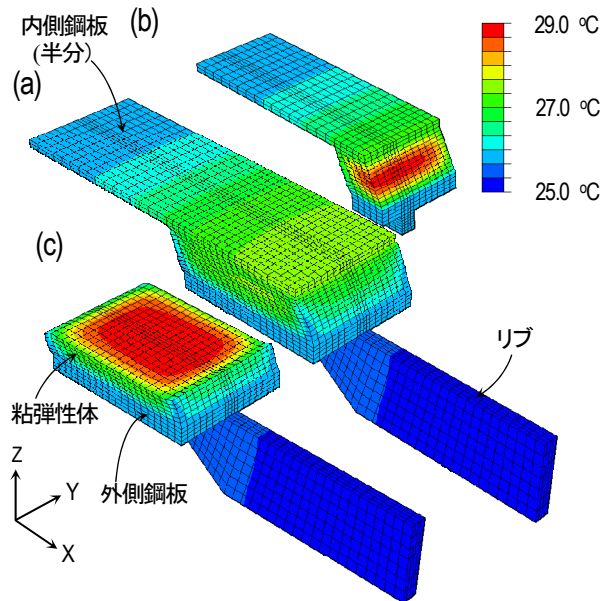


Figure 5 Temperature Distribution at 3000 seconds.

6. まとめ

分数微分構成則を用いた粘弾性ダンパーの3次元有限要素解析手法を提案した。解析結果は、実験結果と精度良く一致していることが確認できた。また、温度分布は厚さ方向に1次元的となることが分かった。

参考文献

- 1) 笠井ほか・粘弾性体の温度・振動数・振幅依存を考慮した構成則, 日本建築学会構造系論文報告集, 第561号, pp.55-63, 2002.11
- 2) Kasai, K. et al: Hysteric Model of Visco-Elastic Damper for Long Duration, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.929-930, 1997.9